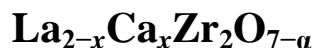


Список использованных источников

1. Центр по развитию МЭ Tajhydro [Электронный ресурс]. URL: <http://tajhydro.com> (дата обращения 20.11.2017).

УДК 544.6.018.462.42

ИЗОТОПНЫЙ ОБМЕН КИСЛОРОДА С ОКСИДАМИ



OXYGEN ISOTOPE EXCHANGE IN OXIDES $\text{La}_{2-x}\text{Ca}_x\text{Zr}_2\text{O}_{7-a}$

Шевырев Н. А., Ходимчук А. В., Еремин В. А., Тропин Е. С.,
Фетисов А. В., Фарленков А. С., Ананьев М. В.

Уральский федеральный университет, Институт
высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Институт
металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, rebel1397@rambler.ru

Shevyrev N. A., Khodimchuk A. V., Eremin V. A., Tropin E. S.,
Fetisov A. V., Farlenkov A. S., Ananyev M. V.

Ural Federal University, Institute of High-Temperature Electrochemistry
UB RAS, Institute of Metallurgy UB RAS, Ekaterinburg

Аннотация: В работе методом изотопного обмена кислорода с уравниванием изотопного состава газовой фазы исследована кинетика обмена кислорода газовой фазы с оксидами $\text{La}_{2-x}\text{Ca}_x\text{Zr}_2\text{O}_{7-a}$ ($x = 0; 0.05; 0.1$), имеющих структуру пирохлора. Получены температурные зависимости коэффициентов диффузии и скоростей обмена кислорода с исследуемыми оксидами в температурном интервале 600–900 °С и давлении кислорода 1 кПа. Установлено, что с ростом температуры и с повышением содержания кальция в оксиде коэффициент диффузии кислорода увеличивается. Показано, что увеличение концентрации кальция приводит к уменьшению скорости диссоциативной адсорбции из-за сегрегации допанта на поверхности

и, как следствие, блокирования активных центров адсорбции La-O, а также увеличению скорости инкорпорирования вследствие увеличения концентрации кислородных вакансий.

Abstract: The oxygen isotope exchange method with equilibration of the isotope composition of the gas phase was used to obtain temperature dependences of oxygen diffusion coefficients and oxygen heterogeneous exchange rates with oxides $\text{La}_{2-x}\text{Ca}_x\text{Zr}_2\text{O}_{7-x}$ ($x = 0; 0.05; 0.1$) in the temperature range of 600–900 °C and oxygen partial pressure equals 1 kPa. The oxygen diffusion coefficient was found to increase with increasing temperature and calcium content in the oxide. It is shown that an increase in the concentration of calcium leads to a decrease in the rate of dissociative adsorption through the segregation of the dopant on the surface and blocking of the active adsorption sites La-O, and also to an increase in the rate of incorporation due to an increase in the concentration of oxygen vacancies.

Ключевые слова: цирконат лантана; протон-проводящий оксид; пирохлор; коэффициент диффузии кислорода, коэффициент обмена кислорода, изотопный обмен кислорода.

Key words: lanthanum zirconate; proton-conducting oxide; pyrochlore; oxygen diffusion coefficient, oxygen exchange coefficient; oxygen isotope exchange.

Оксиды на основе $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ со структурой пирохлора являются примером оксидных материалов со структурными вакансиями кислорода. Ранее нами были исследованы механизмы массо- и электропереноса [1], а также термодинамика дефектообразования [1, 2] в оксидах $\text{La}_{2-x}\text{Ca}_x\text{Zr}_2\text{O}_{7-x}$ ($x = 0; 0.05; 0.1$). Работ, посвященных детальному изучению кинетики обмена и диффузии кислорода в оксидах на основе $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$, нам не известно. Информация о скорости обмена кислорода газовой фазы с поверхностью оксида, также, как и данные о коэффициенте диффузии кислорода позволяет предсказать активность данного соединения в окислительных каталитических реакциях. Целью данной работы являлось изучение влияния

температуры и концентрации акцепторной примеси на кинетику обмена и диффузию кислорода в оксидах $\text{La}_{2-x}\text{Ca}_x\text{Zr}_2\text{O}_{7-\alpha}$ ($x = 0; 0.05; 0.1$).

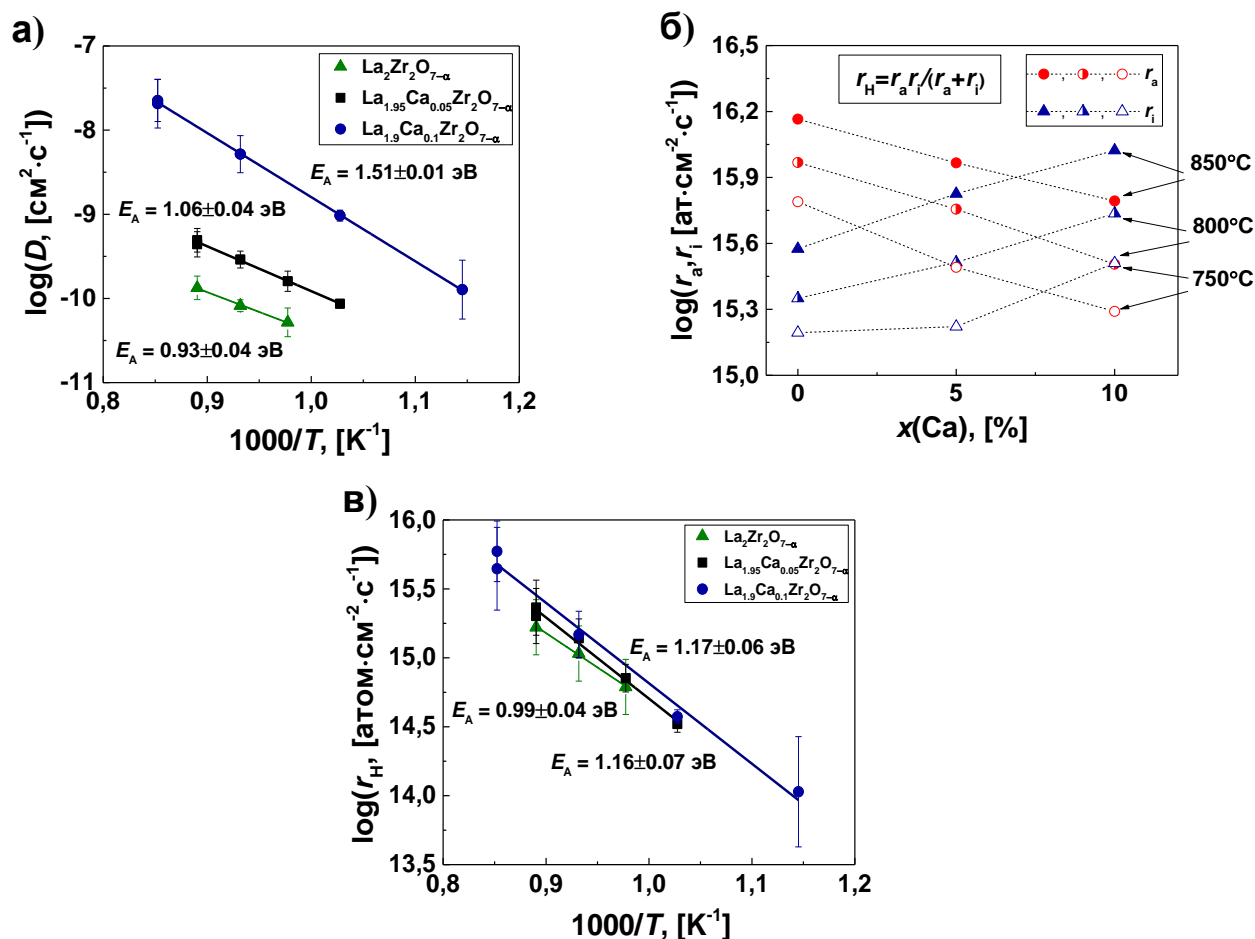
Оксиды синтезировали цитрат-нитратным методом [1]. Элементный состав исследуемых соединений, который контролировали методом атомно-эмиссионной спектроскопии (Perkin Elmer OPTIMA 4300 DV, США), соответствует номинальному, указанному в их формулах. Результат рентгенофазового анализа (Rigaku D-MAX-2200V, Япония) показал, что все образцы оксидов $\text{La}_{2-x}\text{Ca}_x\text{Zr}_2\text{O}_{7-\alpha}$ ($x = 0; 0.05; 0.1$) являлись однофазными, рефлексы, отвечающие примесным фазам, отсутствовали. Элементный анализ поверхности керамических материалов был выполнен методом рентгенофотоэлектронной спектроскопии (Omicron Multiprob Compact, Germany), результаты анализа приведены в таблице.

Содержание элементов (ат. %) в слое толщиной ~5 нм для оксидов $\text{La}_{2-x}\text{Ca}_x\text{Zr}_2\text{O}_{7-\alpha}$ ($x = 0; 0.05; 0.1$).

Элемент	$\text{La}_{1.9}\text{Ca}_{0.1}\text{Zr}_2\text{O}_{7-\alpha}$	$\text{La}_{1.95}\text{Ca}_{0.05}\text{Zr}_2\text{O}_{7-\alpha}$	$\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_{7-\alpha}$
La	9.5	19.2	20.6
Ca	4.5	3.7	0
Zr	86.0	77.1	79.4

Исследование кинетики и диффузии кислорода проводили методом изотопного обмена кислорода с уравниванием изотопного состава газовой фазы при $T = 600 - 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $p\text{O}_2 = 1\text{ кПа}$ на керамических образцах (относительная плотность ~ 98 %). На рисунке, (а), видно, что с увеличением температуры и содержания кальция в оксидах увеличивается как коэффициент диффузии кислорода, так и эффективная энергия активации диффузии. Из рисунка, (б), следует, что для оксидов $\text{La}_{2-x}\text{Ca}_x\text{Zr}_2\text{O}_{7-\alpha}$ ($x = 0; 0.05; 0.1$) увеличение концентрации кальция приводит к уменьшению скорости диссоциативной адсорбции r_a из-за сегрегации допанта на поверхности и блокированию активных центров адсорбции La-O, а также увеличению скорости инкорпорирования r_i вследствие увеличения концентрации кислородных вакансий.

Одновременное разнонаправленное изменение скоростей диссоциативной адсорбции и инкорпорирования кислорода приводит к незначительному изменению скорости межфазного обмена в целом, рисунок, (в).



Температурная зависимость коэффициента диффузии кислорода (а), изотермические зависимости скоростей диссоциативной адсорбции и инкорпорирования кислорода от концентрации кальция в оксиде (б) и температурная зависимость скорости обмена кислорода (в) для оксидов $\text{La}_{2-x}\text{Ca}_x\text{Zr}_2\text{O}_{7-\alpha}$ ($x = 0; 0.05; 0.1$)

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФ № 16-13-00053 с использованием оборудования ЦКП «Состав вещества» ИВТЭ УрО РАН и УНУ «Изотопный обмен», а также ЦКП «Урал-М» ИМЕТ УрО РАН.

Список использованных источников

1. Антонова Е. П. Фазовые равновесия, растворение воды и особенности электропереноса в Са допированном $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_{7-\alpha}$ // Электрохимия. 2017. № 6. С. 731–738.

2. Antonova E. P. Oxygen isotope exchange, water uptake and electrical conductivity of Ca-doped lanthanum zirconate // Solid State Ionics. 2017. № 306. С. 112–117.

УДК 621.311.24

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СОВМЕСТНОГО АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО И МЕХАНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

AN ALGORITHM DEVELOPMENT OF A JOINT AERODYNAMIC AND MECHANICAL SPEED CONTROL OF THE WIND TURBINE

Шигин А. А., Шигина А. В., Васьков А. Г.

Московский энергетический институт, г. Москва, shiginy@yandex.ru

Shigin A. A., Shigina A. V., Vaskov A. G.

Moscow Power Engineering Institute, Moscow

Аннотация: В работе рассмотрены неэлектрические способы обеспечения качества электроэнергии, генерируемой ветроэнергетической установкой. Разработан алгоритм активного аэродинамического регулирования на основании итераций, ведущихся по быстроходности, а также методика определения передаточного отношения одноступенчатого мультипликатора, применяемого совместно с управлением положением лопастей, основанная на расчете линий постоянной частоты. Даны рекомендации по её обобщению для расчета коробки передач и варистора. Применение разработанных алгоритмов возможно в исследовательских целях при моделировании в Simulink режимов работы ветроэнергетической установки с аэродинамическим или совместным аэро-механическим регулированием частоты и активной мощности.